

## РАДИОФИЗИКА

УДК 537.86:004.451.5

DOI: 10.34680/2076-8052.2024.3(137).333-340

Поступила в редакцию / Received 10.07.2024

ГРНТИ 29.35.19+50.41.17

Специальность ВАК 1.3.4; 1.2.2

Принята к публикации / Accepted 07.08.2024

*Научная статья*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ ПРОЦЕССОРА

Андреев И. А., Иванов А. Ю., Петров Р. В.

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия)*

**Аннотация** Развитие систем радиофизических исследований, например, в области радиоастрономии, требует значительных технических ресурсов, в том числе и вычислительной мощности процессоров, применяемых в аппаратуре обработки спектров изучаемых сигналов. Применение для решения этой задачи ЭВМ в свою очередь заставляет рассматривать их энергетические и вычислительные мощности. Применяемые для локального питания радиофизических систем устройства сбора энергии имеют ограничения по ёмкости, что накладывает ограничения на вычислительные мощности. Соответственно, исследование параметров центрального процессора, в том числе быстродействия, является актуальной задачей. В данной работе проводится анализ скорости работы процессора на основе различных характеристик, таких как тактовая частота, количество ядер, объем кэш-памяти и другие. Показаны возможности определения оптимальных параметров для достижения максимального быстродействия процессора при выполнении различных задач. Предложена методика сравнительного анализа процессоров различных производителей и моделей с помощью специализированных программных средств. Полученные в работе результаты в дальнейшем позволят определить наиболее эффективные подходы для повышения производительности компьютерных систем.

**Ключевые слова:** *системы радиофизических исследований, магнитоэлектрические устройства сбора энергии, вычислительная мощность процессора*

**Для цитирования:** Андреев И. А., Иванов А. Ю., Петров Р. В. Исследование влияния различных параметров на вычислительную мощность процессора // Вестник НовГУ. 2024. 3 (137). 333-340. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.3(137).333-340

*Research Article*

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS PARAMETERS ON THE PROCESSOR PROCESSING POWER

Andreev I. A., Ivanov A., Petrov R. V.

*Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (Veliky Novgorod, Russia)*

**Abstract** The development of radiophysical research systems, for example, in the field of radio astronomy, requires significant technical resources, including the computing power of processors used in equipment for processing the spectra of the studied signals. The use of electronic computing machines to solve this problem, in turn, forces us to consider their energy and computing capacities. Energy harvesting devices used for local power supply of radiophysical systems have capacity limitations, which imposes limitations on computing power. Accordingly, studying the parameters of the central processor, including performance, is a relevant task. This article analyzes the processor speed based on various characteristics, such as clock speed, number of cores, cache memory and others. The possibilities for determining the optimal parameters to achieve maximum processor performance when performing various tasks are shown. A method of comparative analysis of processors from different manufacturers and models using specialized software is proposed. The results obtained in the work will further allow us to determine the most effective approaches to improve the performance of computer systems.

**Keywords:** *radiophysical research systems, magnetoelectric energy harvesting devices, processor processing power*

**For citation:** Andreev I. A., Ivanov A., Petrov R. V. Investigation of the influence of various parameters on the processor processing power // Vestnik NovSU. 2024. 3 (137). 333-340. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.3(137).333-340

### Введение

Развитие систем радиофизических исследований, например, в области радиоастрономии, требует значительных технических ресурсов, в том числе и вычислительной мощности процессоров, применяемых в аппаратуре обработки спектров изучаемых сигналов. В свою очередь, такие возможности по оптимизации быстродействия вычислительных средств, их мощности, габаритам и массе существенным образом влияют на прогресс в изготовлении новейшей измерительной аппаратуры. Кроме стационарных комплексов измерения и контроля в радиоастрономии применяются спутниковые и прочие подвижные системы с независимым энергопитанием. Энергетические параметры, таким образом, существенно влияют на работу используемых при измерениях устройств и в том числе на вычислительные мощности. Применение для таких комплексов магнитоэлектрических устройств сбора энергии ограничивается пока использованием небольших по мощности вычислительных средств, но в то же время исследование того, какие параметры влияют на энергопотребление, на вычислительную мощность процессора, оказывают серьезнейшее влияние на разработку и эксплуатацию систем радиофизических исследований в целом. Проведение углублённых исследований по выявлению влияния различных параметров на вычислительную мощность процессора представляется, таким образом, важной и актуальной задачей.

Значительное количество исследований посвящено изучению всевозможных аспектов влияния параметров, например, в работе [1] проводится статистический анализ различных факторов, влияющих на энергопотребление, изучение их взаимосвязи для количественной оценки их влияния на энергопотребление многопоточных и многоядерных процессоров. Авторами рассматриваются методы моделирования энергопотребления на кристалле для существующих процессоров и сравнивается соотношение производительности и энергопотребления между многоядерными и многопоточными процессорами. Показано, что статистические данные о потреблении энергии являются обнадеживающими и полезными для маломощных приложений и разработчиков процессоров, ориентированных на энергопотребление. В работе [2] проводится теоретический анализ модели микроархитектуры для определения соотношения мощности и производительности. Представлена аналитическая модель для количественного измерения мощности и производительности процессора, проведен анализ влияния разделения ресурсов на энергопотребление и производительность при выполнении тестирования и дан прогноз оптимального количества ядер для запуска тестов. В работе [3] описывается

методика скоординированного подхода к измерениям, которая сочетает в себе реальное измерение общей мощности с оценкой производительности на основе счетчика мощности на единицу продукции.

Политики замены играют важную роль в функционировании кэш-памяти процессорных ядер, а успешная реализация политики позволяет повысить производительность процессорного ядра и компьютерной системы в целом [4]. Политики замены чаще всего оцениваются по проценту обращений к кэшу во время циклов работы шины процессора при обращении к кэш-памяти. Аппаратной реализацией любого алгоритма политики замены является схема. Эта аппаратная часть процессорного ядра обладает определенными характеристиками: задержкой процесса поиска элемента-кандидата для замены, сложностью управления и надежностью. В этой работе обобщены и исследованы характеристики политик замены PLRUt и PLRUm. Показана зависимость увеличения задержки и сложности логических элементов в случае увеличения ассоциативности кэш-памяти, а также преимущество аппаратной реализации алгоритма PLRUt по сравнению с алгоритмом PLRUm в более высоких значениях ассоциативности.

В статье [5] представлена конструкция множителя процессора, использующего алгоритм Booth и древовидную структуру Wallace для оптимизации, а также включение регистров для вторичной конвейерной обработки для дальнейшего повышения эффективности. С помощью имитационного анализа авторы подтверждают успешность разработки и предоставляет информацию и результаты в современной области оптимизации множителей, направленные на то, чтобы в конечном итоге повысить производительность процессора. В работе [6] проведена разработка методологии проектирования специализированных вычислительных систем, основанной на совместной оптимизации аппаратного и программного обеспечения применительно к выбранному подклассу задач. Рассмотренные подходы к разработке подходят для ускорения процесса проектирования специализированных вычислительных систем с массово-параллельной архитектурой, основанной на конвейерных или процессорных вычислительных узлах.

В целом, авторы рассмотренных статей не дают общего теоретического подхода к анализу эффективности тестирования, а рассматривают лишь отдельные аспекты улучшения работы вычислительных средств. Актуальным является использование Benchmark тестов, которые позволяют программой определить вычислительную мощность центрального процессора (ЦП) и видеокарт. Появление подобных тестов позволило определить какой процессор мощнее, а какой слабее. Benchmark тесты однако не дают понимания, какие параметры важны для быстродействия ЦП, и не дают теоретических подходов и аналитики пользователям и разработчикам, которая позволит работать с процессором, что в свою очередь тормозит прогресс. В статье исследуются параметры, которые задействуются в большинстве тестов и на которые необходимо делать упор в первую очередь.

### Факторы, влияющие на быстродействия ЦП

Процессор – это устройство, предназначенные для обработки информации представленной в виде сигналов электрического тока. В процессоре есть ряд особенностей, по которым обычно определяют его быстро действенность: тактовая частота, разрядность, множитель и системная шина, наличие графического ядра, а также количество ядер и потоков.

*Тактовая частота.* Работа процессора заключается в обработке сигналов. Цифровые сигналы характеризуются активным (высоким) и неактивным (низким либо отсутствием) уровнями напряжения. Переходные процессы на высоких частотах характерных для современных процессоров протекают очень быстро, но тем не менее мгновенно изменить уровни сигнала не получится. Время переключения с одного уровня на другой будет конечно и измеримо. Важно также учитывать при расчёте такие характеристики как фронт сигнала – процесс изменения уровня сигнала с неактивного до активного и спад сигнала – соответственно изменение уровня с активного до неактивного состояния. Заметим, что длительность фронта и спада могут отличаться даже в одной процессорной схеме.

Интервал времени между началами двух соседних фронтов импульсов называется тактом. Чем короче импульс, тем выше тактовая частота, поскольку такт становится короче и за единицу времени процессор обработает большее количество тактов. На сегодняшний день тактовая частота измеряется в ГГц (в гигагерцах), частота в 1 ГГц, была впервые достигнута 6 марта 2000 г., а 16 октября 2023 г. была достигнута самая высокая отметка тактовой частоты 9.043 ГГц на процессоре Intel Core i9-14900KF.

*Системная шина и множитель.* Понятие системная шина как единая компьютерная шина или основная интерфейсная шина связывает основные части вычислительной системы. Применяется для обеспечения модульности конструкции, соответственно достигая определённых преимуществ. Её параметрами являются количество обслуживаемых системной шиной устройств и максимальная скорость передачи информации между элементами компьютера. Скорость передачи информации в шине сильно зависит от разрядности шины (существуют 8-, 16-, 32- и 64-разрядные) и тактовой частоты. Стандарты системных шин: шина PCI для подключения устройств, находящихся внутри корпуса к материнской плате компьютера, шина USB для подключения периферии вне корпуса вычислительной машины по стандарту plug-n-play, шина SCSI для соединения устройств различных классов.

Множитель процессора – это коэффициент, на который умножается частота системной шины. Результатом умножения множителя на частоту шины является реальная тактовая частота процессора. У многих современных процессоров множитель заблокирован на уровне ядра и не поддается изменению. В процессорах

INTEL параметр является разблокированным в том случае, если в названии процессора присутствует приставка "К". Повысить тактовую частоту процессора (разогнать процессор) с заблокированным множителем нельзя, потому за основу берут частоту системной шины материнской платы и получают более высокую тактовую частоту процессора без изменения множителя.

*Разрядность.* Объединение ранее отдельных компонентов компьютерного процессора в единый кристалл повлекло за собой как большие преимущества, так и определённые недостатки. Системная шина, предназначенная для обмена данными между процессором и другими устройствами по скорости уступает внутрипроцессорной скорости обмена, что влияет на общую производительность. Передача информации связана с тактовой частотой процессора и объёмом обработанной информации за такт. Процессор будет работать быстрее при увеличении количества переданных битов за один такт, соответственно увеличивается и скорость операций. Разрядность адресной шины также влияет на работу системы. Нумерация адресного пространства компьютера реализована побайтно. Запрос процессором адреса данных, при обращении к памяти, компьютером происходит через адресную шину. Разрядность шины адреса существенно влияет на характеристики компьютера, основной её характеристикой является разрядность в битах, что даёт общий объём адресного пространства. Например, при восьми разрядной шине адреса максимальная адресация это 256 байт, при шестнадцати разрядной уже 64000 байт, а при тридцати двух разрядной достигает 4 Гбайт.

*Наличие графического ядра.* Наличие графического ядра на процессоре может оказывать различное влияние на его производительность в зависимости от конкретной ситуации и задач, которые выполняются. Наличие графического ядра на процессоре может значительно увеличить производительность в графических приложениях, таких как видеоигры или 3D-моделирование. Графическое ядро обрабатывает графические данные и генерирует изображение, освобождая основной процессор от этой нагрузки.

Видеокодирование и обработка графики требуют большого объема вычислений. Наличие графического ядра на процессоре может значительно ускорить эти процессы, улучшая производительность при кодировании, декодировании или редактировании видео, а также при обработке графических изображений. Некоторые задачи, такие как научные расчеты или обработка больших объемов данных, могут быть распараллелены и выполняться с использованием графического ядра и его мощности для выполнения множества вычислений одновременно. В таких случаях графическое ядро может значительно увеличить производительность процессора. Однако, влияние графического ядра может быть незаметным или даже отрицательным в некоторых других задачах, где его использование не требуется или неэффективно. При выполнении задач, не связанных с обработкой графики или

видео, графическое ядро может закрыть доступ к системной шине для центрального процессора и таким образом снизить его производительность.

*Наличие DMA.* Отличие этого режима в том, что процессор не участвует в обмене данными между устройствами компьютера и основной памятью, и как следствие с него снимается определённая нагрузка. Таким образом удаётся увеличить скорость передачи данных благодаря тому, что независимо от ЦП контроллер DMA может получать доступ к системной шине.

### **Benchmark тестирование и работа ЦП**

Принцип работы Benchmark тестов, заключается в создании нагрузки на ЦП и подсчете его быстродействия. Большинство тестов выдают результаты подсчетов в Flops – единице измерения вычислительной мощности, которая показывает сколько операций с плавающей точностью может обработать процессор за один такт.

Исходя из определения можно вывести формулу:

$$\text{Количество ядер} * \text{частота процессора} * \text{кол-во операций с плавающей точкой} = \text{вычислительная мощность}$$

Однако результаты разных Benchmark тестов говорят о высокой зависимости от количества операций с плавающей точкой, подсчет которых вручную не является рациональным для широкого круга пользователей, но крайне важен для производителей, пишущих инструкции и драйвера для процессоров. Также стоит учитывать то, что процессор постоянно обменивается информацией с оперативной памятью. ОЗУ обрабатывает команды и обменивается ими с процессором через системную шину. Оперативная память хранит информацию, без которого процессор не сможет выполнять инструкции и преобразовывать входящую информацию. Таким образом можно определить, что мощность процессора может быть сильно ограничена разностью частот ОЗУ, процессора и системной шины.

### **Заключение**

Применение для радиофизических исследований, например, в области радиоастрономии, вычислительных средств, таких как современные ЭВМ является актуальной задачей. Оптимизация выбора таких ЭВМ тесно связана как с подбором вычислительных мощностей, так и с энергетическими параметрами. Минимизация затрат на энергетические параметры возможна с использованием магнитоэлектрических устройств сбора энергии, а вычислительные мощности возможно оптимизировать используя Benchmark тесты. Наиболее важными факторами, влияющими на мощность работы процессора, являются: частота процессора, количество ядер, частота ОЗУ, частота системной шины, наличие

графического ядра и наличие DMA. Дополнительными факторами, влияющими на вычислительную мощность ЦП, являются: разрядность и системный множитель.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-20045, <https://rscf.ru/project/24-19-20045/>.

### **Список литературы**

1. Saravanan V., Chandran S. K., Punnekkat S., Kothari D. P. A study on factors influencing power consumption in multithreaded and multicore CPUs // WSEAS Transactions on Computers. 2011. 10 (3). 93-103.
2. Anpalagan A., Kothari D. P., Woungang I., Obaidat M. S. An analytical study of resource division and its impact on power and performance of multi-core processors // The Journal of Supercomputing. 2014. 68. 3. 1265-1279. DOI: 10.1007/s11227-014-1086-0
3. Isci C., Martonosi M. Runtime power monitoring in high-end processors: Methodology and empirical data // Proceedings. 36th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 2003. MICRO-36. 2003, P. 93-104. DOI: 10.1109/MICRO.2003.1253186
4. Titarenko L., Kharchenko V., Puidenko V., Perepelitsyn A., Barkalov A. Hardware-Based Implementation of Algorithms for Data Replacement in Cache Memory of Processor Cores // Computers. 2024. 13, 7. 166. DOI: 10.3390/computers13070166
5. Wu B., Zhang Z. Optimizing multiplier design for enhanced processor performance // Applied and Computational Engineering. 2024. 38. 280-287. DOI: 10.54254/2755-2721/38/20230564
6. Тарасов И. Е., Советов П. Н., Люлява Д. В., Мирзоян Д. И. Методика проектирования специализированных вычислительных систем на основе совместной оптимизации аппаратного и программного обеспечения // Russian Technological Journal / Российский технологический журнал. 2024. 12 (3). 37-45. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-3-37-45

### **References**

1. Saravanan V., Chandran S. K., Punnekkat S., Kothari D. P. A study on factors influencing power consumption in multithreaded and multicore CPUs // WSEAS Transactions on Computers. 2011. 10 (3). 93-103.
2. Anpalagan A., Kothari D. P., Woungang I., Obaidat M. S. An analytical study of resource division and its impact on power and performance of multi-core processors // The Journal of Supercomputing. 2014. 68. 1265-1279. DOI: 10.1007/s11227-014-1086-0
3. Isci C., Martonosi M. Runtime power monitoring in high-end processors: Methodology and empirical data // Proceedings. 36th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture, 2003. MICRO-36, 2003. P. 93-104.
4. Titarenko L., Kharchenko V., Puidenko V., Perepelitsyn A., Barkalov A. Hardware-Based Implementation of Algorithms for Data Replacement in Cache Memory of Processor Cores // Computers. 2024. 13. 166. DOI: 10.3390/computers13070166
5. Bilun Wu, Zeyu Zhang. Optimizing multiplier design for enhanced processor performance // Applied and Computational Engineering. 2024. 38. 280-287. DOI: 10.54254/2755-2721/38/20230564
6. Tarasov I. E., Sovetov P. N., Lulyava D. V., Mirzoyan D. I. Metodika proyektirovaniya spetsializirovannykh vychislitel'nykh sistem na osnove sovmestnoy

optimizatsii apparatnogo i programmnoho obespecheniya [Method for designing specialized computing systems based on hardware and software co-optimization] // Russian Technological Journal. 2024. 12 (3). 37-45. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-3-37-45

#### **Информация об авторах**

*Андреев Игорь Алексеевич* – студент, лаборант, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0001-3373-2502, [rogandreev@gmail.com](mailto:rogandreev@gmail.com)

*Иванов Андрис Юрьевич* – аспирант, преподаватель, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0005-6623-1762, [andrewivanov1998@gmail.com](mailto:andrewivanov1998@gmail.com)

*Петров Роман Валерьевич* – доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник, профессор, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0000-0002-9751-116X, [Roman.Petrov@novsu.ru](mailto:Roman.Petrov@novsu.ru)